AMEA-nın Xəbərləri (biologiya və tibb elmləri), cild 69, №1, səh. 128-133 (2014)

Адаптивная Реакция Клеток *Dunaliella* На Действие Стрессоров Разной Природы

Г.И. Али-заде *, Н.М.Зейналова, И.И.Алиев, Х.Х.Магеррамова

**Бакинский государственный университет, ул. академика Захид Халилова, 23, Баку AZ 1048, Азербайджан*

В работе представлены результаты изучения биопродуктивности, биосинтеза каротиноидов, каталазной активности и перекисного окисления липидов (ПОЛ) контрольных и клеток, выращенных в условиях действия хронических доз УФ-В излучения, в присутствии генератора активных форм кислорода - метиленового синего и гербицида норфлуразона (НФ). Показано, что обработка клеток норфлуразоном и метиленовым синим в условиях интенсивного культивирования водорослей при хронических дозах УФ-В излучения (4,5*10^3 эрг/мм^2 в час) снижает биопродуктивность клеток. Выявлено, что действие НФ в отдельности подавляет, а метиленовый синий и хронические дозы УФ-В излучения каждый в отдельности, наоборот, стимулируют биосинтез каротиноидов. Установлено, что при действии стрессоров в отдельности, внутриклеточная каталазная активность повышается, а при совместном действии стрессоров наблюдается синергическое подавление каталазной активности клеток Dunaliella. Норфлуразон подавляет процесс ПОЛ, а метиленовый синий в отдельности и совместные действия стрессоров повышают процесс перекисного окисления липидов.

***Ключевые слова**: зеленые микроводоросли, биопродуктивность, норфлуразон, метиленовый синий, УФ-В излучение, каротиноид, каталаза, перекисное окисление липидов*

ВВЕДЕНИЕ

Излучение в УФ области спектра эффективно индуцирует прямые и опосредственные АФК (активные формы кислорода) фотоокислительного повреждения. Значительные прямые УФ-индуцированные повреждения приписывают действию излучения в области 280-320 нм (УФ-В). При помощи высокоэнергетических УФ-В квантов биологические молекулы окисляются и теряют способность к выполнению своих функций в растительной клетке (Bornman et al., 1997; Caldwell et al., 2003). Интерес к биологическому действию излучения в этом спектральном диапазоне особенно возрос после появления дыр в озоновом слое Земли. Повреждающее действие УФ-В наносит значительный экономический ущерб растениеводству, снижая количество и качество урожая самых разных культур (Krupa et al., 1998; Tevini and Teramura, 1989). Внешне действие УФ излучения на растения проявляются в уменьшении их размеров, деформации и побурении листовой пластины, появлении некрозов. Устойчивость растений к действию УФ радиации сильно зависит от вида: одни не повреждаются дозами, существенно превышающими фоновые, тогда как другие, наоборот, очень чувствительны и становятся менее продуктивными даже при малых дозах УФ (Krupa et al., 1998; Tevini and Teramura, 1989). Индукция синтеза высоких количеств каротиноидов (каротиногенез), является характерным ответом одноклеточных водорослей на действие УФ-В излучения (Али-заде и др., 2008), а также стрессоров различной природы (Boussiba, 2000; Vidhyavathi et al., 2008; Wang et al., 2003). Считается, что, каротиногенез, наряду с прочими ответами на действие стрессоров, является адаптивной реакцией, обеспечивающей выживание микроводорослей в экстремальных условиях среды обитания. Накопление β-каротина у микроводоросли *Dunaliella* (Borowitzka and Siva, 2007) индуцируется различными стрессами, т.е. условиями, снижающими эффективность фотосинтеза и повышающими риск фотоингибирования (Ben-Amotz and Shaish, 1992). Известно, что синтез β-каротина у этих водорослей можно индуцировать искусственно, если обработать их клетки красителем метиленовым синим – генератором АФК (Fan et al., 1998). Имеются данные, о том, что гербицид норфлуразон является ингибитором фотосинтеза и синтеза каротиноидов (Болатхан, 1996).

Целью настоящей работы является изучение биопродуктивности, биосинтеза каротиноидов, каталазной активности и перекисного окисления липидов контрольных и клеток, выращенных в условиях действия хронических доз УФ-В излучения, в присутствии красителя метиленового синего и гербицида норфлуразона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служила зеленая одноклеточная водоросль *Dunaliella salina IPPAS D-294*, выделенная из соленых озер Абшерона и введенная в культуру. Водоросли выращивали при температуре 27°С в фотореакторах, объемом 250 мл, из обычного (контрольные суспензии) и кварцевого (опытные суспензии) стекла на установке для выращивания культур одноклеточных водорослей. Клетки *Dunaliella salina IPPAS D-294* способны проявлять свою жизнедеятельность в широких пределах солевой концентрации среды (50-300 г/л). Оптимальная концентрация NaCI для роста и размножения находится в диапазоне 1,5-2,0 М. Минеральная среда содержала (г/л): NaCI – 87,5 (1,5М NaCI); KNO_3 – 5,0; KH_2PO_4 – 1,25; $MgSO_4$ – 50; $FeSO_4$ – 0,009 и раствор микроэлементов – 1 мл/л. Суспензию клеток в фотореакторах в течение 24 часов освещали белым светом (16 Вт/м^2) и непрерывно продували смесью (воздух+1,5 CO_2). Темп роста культуры определяли периодическим подсчетом числа клеток в камере Горяева под микроскопом или нефелометрически, измерением оптической плотности суспензии.

Источником УФ-В излучения служила ртутная лампа СВД-120, без светофильтра. Хроническое УФ-В облучение суспензии клеток проводили круглосуточно.

Клеточную суспензию, подготовленную к измерению содержания каротиноидов, каталазной активности, доводили до 10^{6}кл/мл (оптическая плотность, OD=0,8).

Содержание каротиноидов в клеточных экстрактах (100% ацетон) измеряли на спектрофотометре и рассчитывали на основании коэффициентов Ветштейна (Гвриленко и др., 1975).

Для измерения каталазной активности клеток, суспензию осаждали центрифугированием (3000 об/мин.). Осадок переносили в ступку с 0,5г $CaCO_3$, добавляли 5 мл дистиллированной воды и растирали до однородной массы. После этого полученную массу количественно переносили в стакан емкостью 50 мл до метки и настаивали при периодическом взбалтывании 3-4 часа. В течение этого времени идет экстракция фермента из растительного материала. После настаивания суспензию фильтровали в сухой стакан. Активность каталазы измеряли газометрическим методом, который основан на определении объема после прибавления к водному экстракту из растений, содержащему каталазу, перекиси водорода (Плешков, 1976).

Оценка степени перекисного окисления липидов (ПОЛ) была проведена по методу определения содержания МДА в клетках *Dunaliella salina* - методом, основанным на реакции с тиобарбитуровой кислотой.

Суспензию клеток (35 мл) центрифугировали при 3000 об/мин в течение 10 минут. Полученный осадок гомогенизировали в 20 мл 0,1%-ой ТХУ. Гомогенат центрифугировали при 3000 об/мин в течение 10 минут. К 1 мл супернатанта добавляли 4 мл 20% ТХУ, содержащей 0,5% ТБК. Смесь нагревали на водяной бане при 95^{0}С в течение 30 мин. и сразу охлаждали под проточной водой. После центрифугирования смеси при 3000 об/мин в течение 10 минут, определяли оптическую плотность супернатанта при 532 нм (Heath and Packer, 1968a).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выращивание контрольной суспензии клеток при оптимальных условиях (температура 27°С, интенсивность света 16 Вт/м^2, парциальное давление углекислоты, минеральная среда, содержащая 1,5 М NaCI) в 250 мл стеклянных фотореакторах и подаче воздушной смеси с температурой 25°С в периодически-накопительном режиме культивирования в течение 24 часов показали, что оптическая плотность клеточной суспензии увеличивается в 3,5-4 раза. В этих условиях биопродуктивность опытных суспензий, при обработке клеток гербицидом норфлуразоном (НФ) с концентрацией $5{\cdot}10^{-7}$ М и 10^{-6} М подавлялась и составляла 82% и 60%, соответственно. Известно, что НФ является ингибитором фотосинтеза и синтеза каротиноидов в растительных клетках. Показатели пигментного состава в течение 24 часового культивирования контрольных и опытных суспензий клеток представлены в таблице 1. Как видно из таблицы обработка клеток гербицидом НФ при концентрации $5{\cdot}10^{-7}$М (75%) и концентрации 10^{-6} М полностью подавляет синтез каротиноидов. При этом биосинтез хлорофиллов в соответствующих концентрациях подавляется на (10-11%). Биопродуктивность водорослей в присутствии гербицида, соответственно, снижается на 20% и 40%. Проведена также оценка интенсивности процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ), состояния антиоксидантной системы (каталазной активности) в условиях гербицидной интоксикации на стадии развития водоросли *Dunaliella* в интенсивно-накопительном режиме культивирования. В таблице представлены результаты увеличения каталазной активности при концентрации гербицида 10^{-6} М. Показатели интенсивности процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) клеток при действии минимальных летальных концентрации гербицида снижались.

Таблица 1. Показатели роста, пигментообразования, каталазной активности и количества образованного МДА в клетках *Dunaliella* в контроле и при обработке клеток гербицидом норфлуразоном

	Рост, *OD*		**Каталазная активность,мкМ H_2O_2 мл$^{-1}$ мин$^{-1}$**				**Количество пигментов, мг/л**			**Содержание МДА, моль/г сырого веса**
			5	10	15	20	Ca	Cb	Скар.	
К	0,25	0,98±0,03	0,2	0,7	1,2	1,5	2,6±0,05	1,3±0,05	1,8±0,1	$0,75\cdot10^{-3}$±0,05
O_1	0.25	0,81±0,03	0,3	0,8	1,2	1,5	2,4±0,05	1,2±0,05	0,2±0,1	$0,6\cdot10^{-3}$±0,05
O_2	0.25	0,59±0,03	0,7	1,7	2,3	2,8	2,3±0,05	1,2±0,05	0,0±0,0	$0,4\cdot10^{-3}$±0,05

Примечание*: оптическая плотность OD=0,8; К-контроль; O_1 - обработка норфлуразоном ($5\cdot10^{-7}$М); O_2 - обработка норфлуразоном (10^{-6} М)*

Таблица 2. Показатели роста, пигментообразования, каталазной активности и количества образованного МДА в клетках *Dunaliella* в контроле и при обработке клеток красителем метиленовым синим

	Рост, *OD*		**Каталазная активность,мкМ H_2O_2 мл$^{-1}$ мин$^{-1}$**				**Количество пигментов, мг/л**			**Содержание МДА, моль/г сырого веса**
			5	10	15	20	Ca	Cb	Скар	
К	0,25	0,86±0,03	0,2	0,6	1,0	1,2	2,6±0,05	1,3±0,05	0,8±0,1	$0,75\cdot10^{-3}$ ±0,05
O_1	0.25	0,83±0,03	0,9	1,2	2,5	3,0	3,2±0,05	1,6±0,05	0,88±0,1	$0,75\cdot10^{-3}$ ±0,05
O_2	0.25	0,77±0,03	1,2	1,9	2,4	2,7	2,2±0,05	1,7±0,05	1,07±0,1	$0,75\cdot10^{-3}$ ±0,05

Примечание*: оптическая плотность OD=0,8; К - контроль; O_1 - обработка метиленовым синим - 2 мкМ; O_2 - обработка метиленовым синим - 3 мкМ*

При добавлении в питательную среду красителя, генератора активных форм кислорода (АФК) – метиленового синего в концентрации 2 мкМ и 3 мкМ темп роста и биопродуктивность в опытных суспензиях снижались на 3,5-4 % и 9-10%, соответственно.

Показатели биосинтеза пигментов, каталазной активности и количества образованного МДА в клетках *Dunaliella* в контроле и при обработке клеток красителем метиленовым синим в двух концентрациях в течение 24 часового культивирования контрольными и опытными суспензиями клеток представлены в таблице 2. Как видно из таблицы 2, в контрольной суспензии в связи с ростом и развитием популяции, показатели биосинтеза пигментов, в частности каротиноидов, отличаются от опытной. При обработке клеток красителем метиленовым синим в концентрации (2мкМ) в опытных суспензиях в процессе роста в клетках образуются активные формы кислорода, которые приводят к замедлению роста и биосинтезу несколько повышенных количеств низкомолекулярных антиоксидантов, в частности каротиноидов (10-12%). Повышение концентрации красителя (3мкМ) несколько подавляет биопродуктивность, но биосинтез каротиноидов увеличивается на 33-35%. Известно, что в растительной клетке кроме низкомолекулярных антиоксидантов участвуют также высокоактивные высокомолекулярные соединения (каталаза, пероксидаза и супероксиддисмутаза), способные ингибировать активные формы кислорода и свободнорадикальные процессы. В таблице 2 представлены результаты по определению каталазной активности в клетках *Dunaliella,* выращенных в контроле и при обработке клеток красителем метиленовым синим при концентрациях 2мкМ и 3 мкМ. Обработка клеток метиленовым синим, заметно увеличивает каталазную активность опытных клеток, и разница с контролем составляет 2,4-2,5 раза при 2мкМ и 2-2,2 раза при 3мкМ. Таким образом, обработка клеток метиленовым синим, при интенсивном культивировании суспензии клеток *Dunaliella* снижает биопродуктивность водорослей, повышает активность антиоксидантной системы, что сказывается на биосинтезе каротиноидов и каталазной активности. Результаты изучения влияния генератора АФК метиленового синего на количество образованного МДА опытной суспензии показали, что при действии красителя на клетки процесс перекисного окисления липидов (ПОЛ) не наблюдается.

Таблица 3. Показатели роста, пигментообразования, каталазной активности и количества образованного МДА в клетках *Dunaliella* в контроле и при обработке клеток норфлуразоном, метиленовым синим и при действии хронической дозы УФ-В радиации

Рост, *OD*		**Каталазная активность,мкМ H_2O_2 мл$^{-1}$ мин$^{-1}$**					**Количество пигментов, мг/л.**			**Содержание МДА, Моль/г сырого веса**
			5	10	15	20	Ca	Cb	Скар	
К	0,25	1,2±0,03	0,3	0,6	0,9	1,2	4,5±0,1	2,1±0,1	0,9±0,1	$0{,}75\cdot10^{3}\pm0{,}05$
O_1	0.25	0,85±0,02	0,6	1,5	2,0	2,6	4,6±0,1	1,9±0,1	1,43±0,1	$0{,}9\cdot10^{-3}\pm0{,}05$
O_2	0.25	0,8±0,02	0,3	0,5	0,8	1,05	4,8±0,1	3,3±0,1	1,42±0,1	$0{,}8\cdot10^{-3}\pm0{,}05$
O_3	0.25	0,7±0,02	0,2	0,4	0,5	0,7	4,6±0,1	2,6±0,1	1,39±0,1	$1{,}05\cdot10^{3}\pm0{,}05$

***Примечание**: оптическая плотность OD=0,8; К – контроль; O_1 – клетки, выращенные при хронической дозе УФ-В радиации $4{,}5\cdot10^3$эрг/мм^{2}в час; O_2 – клетки, обработанные норфлуразоном ($5\cdot10^{-7}$М) и выращенные при хронической дозе УФ-В радиации $4{,}5\cdot10^3$эрг/мм^{2}в час; O_3 - клетки, обработанные метиленовым синим (2 мкМ) и выращенные при хронической дозе УФ-В радиации $4{,}5\cdot10^3$эрг /мм^2 в час*

Как следует из литературных данных, в период действия на растительные клетки УФ радиации происходит нарушение фотосистемы II, целостности тилакоидов, что вызывает перекисное окисление мембранных систем клетки, происходят многочисленные структурно-функциональные изменения, часть из которых вовлечена в процесс формирования повышенной устойчивости. Между тем одна из наиболее важных современных тенденций в выяснении тонких механизмов устойчивости растений к изменениям окружающей среды, в частности, заключается в установлении характера взаимодействия между процессами синтеза каротиноидов и активностью каталазы. По показателям биосинтеза каротиноидов, количества МДА и активности каталазы, можно судить о степени развития процессов повреждения активными формами кислорода (АФК) в клетках *Dunaliella*. Ответные реакции клеток на УФ-В радиацию – это увеличение биосинтеза каротиноидов во время роста, а также повышение каталазной активности. Было бы интересно исследовать количественные показатели синтеза каротиноидов, активности каталазы и количественное определение МДА в условиях УФ-В радиации и обработки клеток гербицидом НФ и красителем – метиленовым синим.

В таблице 3 представлены показатели роста, пигментообразования, каталазной активности и количества образованного МДА в клетках *Dunaliella* в контроле и при действии хронической дозы УФ-В излучения ($4{,}5\cdot10^3$ эрг/мм^2 в час), при обработке клеток норфлуразоном и УФ-В излучением, а также метиленовым синим и УФ-В излучением. Как видно из таблицы, действие хронической дозы УФ-В излучения ($4{,}5\cdot10^3$ эрг/мм^2 в час) на суспензию клеток приводит к подавлению темпа роста культуры на 30%, причем биосинтез каротиноидов в данном случае превышает соответствующий показатель для контрольных клеток на 59%. Эти данные согласуются с ранее полученными результатами (Али-заде и др., 2008). В этих условиях повышается антиокислительная активность клеток, что сказывается на увеличении каталазной активности (55%) по сравнению с контролем, а также количества образованного МДА (на 20%).

Биопродуктивность водорослей, обработанных норфлуразоном $5\cdot10^{-7}$М и выращенных при хронической дозе УФ-В радиации $4{,}5\cdot10^3$ эрг/мм^2 в час, снижается по сравнению с хронически УФ-В облученными клетками на 5-6%. В этих условиях подавляется каталазная активность, снижается количество образованного МДА, т.е. интенсивность процессов перекисного окисления липидов.

Несмотря на то, что НФ является ингибитором биосинтеза каротиноидов, количество пигмента оставалось на уровне УФ-В облученных клеток, т.е. превышало контрольные образцы.

Действие хронической дозы УФ-В излучения и метиленового синего на клетки *Dunaliella* приводит к снижению биопродуктивности водорослей, по сравнению с УФ-В облученными и контрольными клетками, а также к увеличению количества образованного МДА и резкому снижению каталазной активности. Обработка клеток метиленовым синим и действие хронической дозы УФ-В излучения не влияет на биосинтез каротиноидов, который сохраняется на уровне УФ-В облученных водорослей.

Таким образом, при интенсивном культивировании водорослей обработка клеток норфлуразоном и метиленовым синим при хронических дозах УФ-В излучения снижает биопродуктивность клеток. Необходимо отметить, что подавление биопродуктивности водорослей при действии хронической дозы УФ-В излучения ($4{,}5 \cdot 10^3$ эрг/мм^2 в час) в отдельности составляет 30%, норфлуразона в концентрации $5 \cdot 10^{-7}$М – 18%, а при совместном действии двух стрессоров (УФ-В+норфлуразон) биопродуктивность водорослей подавляется на 36%, в данном случае наблюдается сопряженная устойчивость популяции к стрессорам. При совместном действии (УФ-В+метиленовый синий) наблюдается синергическое подавление (58%) биопродуктивности водорослей. Под действием только хронических доз УФ-В излучения ($4{,}5 \cdot 10^3$ эрг/мм^2 в час) биопродуктивность клеток снижалась на 30%, а метиленовый синий в концентрации 2 мкМ снижал биопродуктивность на 3,5-4%.

В этих условиях действие гербицида (НФ) в отдельности подавляет, а метиленовый синий и УФ-В радиация, наоборот, стимулируют биосинтез каротиноидов. При совместном действии УФ-В радиации и НФ, а также УФ-В радиации и метиленового синего биосинтез каротиноидов остается на постоянном высоком уровне по сравнению с контрольными клетками. Действие стрессоров в отдельности приводит к повышению внутриклеточной активности антиоксидантной системы, в частности каталазной активности. При совместном действии стрессоров наблюдается синергическое подавление каталазной активности клеток *Dunaliella.*

Можно заменить на Оценка интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) клеток показала, что гербицидная интоксикация норфлуразоном при условии исключения влияния других стрессоров заметно подавляла этот процесс.Метиленовый синий в отдельности и совместные действия стрессоров повышали процесс перекисного окисления липидов.

ЛИТЕРАТУРА

Али-заде Г.И., Сидеиф-заде А.Р., Наджафли М.Г., Алиева Ф.К. (2008) Функциональное состояние клеток Dunaliella при последовательном действии УФ-В и УФ-С радиаций. Труды Института ботаники НАН Азербайджана, **28**: 338-340.

Болатхан З. (1996) Генетический анализ мутантов *Chlamydomonas reinhardtii* устойчивых к норфлуразону. Автореф.дисс. на соиск. канд.биол.наук., Санкт-Петер.

Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. (1975) Большой практикум по физиологии растений: фотосинтез; дыхание. «Высшая школа», 391 с.

Плешков Б.П. (1976) Практикум по биохимии растений (2-е изд., доп. перераб.). М.: Колос, 256 с.

Ben-Amotz A., Shaish A. (1992) β-carotene biosynthesis. Dunaliella: physiology, biochemistry and biotexnology. Eds: Avron M., Ben-Amotz A., Boca Raton, CRC press: 205-216.

Bornman J.F., Renber S., Cen Y.-P., Weisenbock G. (1997) Ultraviolet radiation as a stress factor and the role of protective pigments. Plants and UV-B: Responses to environmental change. Ed. Lundse J. Cambridge University Press, Cambridge, New York: 157-168.

Borowitzka M.A., Siva C.J. (2007) The taxonomy of the genus *Dunaliella* with emphasis on the marine and and halophilic species. J. Appl. Phycol., **19**: 567-590.

Boussiba S. (2000) Carotenogenesis in the green alga *Haematococcus pluvialis*: cellular physiology and stress response. Physiol. Plant., **108**: 111-117.

Caldwell M.M., Ballare C.L., Bornman J.F. (2003) Terrestrial ecosystems increased solar ultraviolet radiation and inter actions with other climatic change factors. Photochem. Photobiol., *Sci.* **2**: 29-38.

Heath R.L., Packer L. (1968a) Photoperoxidation in isolated chloroplasts: Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch. of Biochem. and Biophys., **125**: 189-198.

Fan L., Vonshak A., Zarka A., Boussiba S. (1998) Does astaxantin protect *Haematococcus pluvialis* against light damage? Reitschrift Naturforsch., **53**: 93-100.

Krupa S.V., Kickert R.N., Jager H.-J. (1998) Elevated UV-B Radiation in Agriculture. Springer Verlag: Berlin, Hiedelberg, New York, 10, 296 c

Tevini M., Teramura A.H. (1989) UV-B effects on terrestrial plants. Photochem. Photobiol., **50 (4)**: 479-487.

Vidhyavathi R., Venkatachalan L., Sarada R., Ravis G.A. (2008) Regulation of carotenoid biosynthetic genes expression and carotenoid accumulation in the green alga *Haematococcus pluvialis* under nutrient stress conditions. J. Exp. Bot., **59(6)**: 1409-1418.

Wang B., Zarka A., Trebst A., Boussiba S. (2003) Astaxanthin accumulation in *Haematococcus pluvialis* as an active photoprotective process under high irradiance. J.Phycol., **39**: 1116-1124.

Müxtəlif Təbiətli Streslərin Təsiri Zamanı *Dunaliella* Hüceyrələrində Adaptiv Reaksiyalar

Q.İ.Əli-zadə, N.M.Zeynalova, İ.İ.Əliyev, X.X.Məhərrəmova

Bakı Dövlət Universiteti

İşdə UB-B şüaların xroniki dozaları, oksigenin fəal formalarını əmələ gətirən – metilen göy boyadıcısı və norflürazon herbisidinin təsirləri zamanı təcrübə və kontrol hüceyrələrinin biomәhsuldarlığı, karotinoidlərin biosintezi, katalaza fermentinin aktivliyinin və lipidlərin peroksidləşməsi (LPO) prosesinin göstəriciləri verilmişdir. Müəyyən edilib ki, hüceyrələrin metilen göy boyadıcısı, herbisid norflürazon ilə işlənməsi və UB-B şüaların xroniki dozaları (hər saatda $4{,}5*10^3$ erg/mm^2) şəraitində intensiv yığılma rejimində becərilməsi onların biomәhsuldarlığını azaldır. Aşkar edilmişdir ki, ayrılıqda norflürazon herbisidinin təsirindən hüceyrələrdə karotinoidlərin biosintezi azalır, metilen göy boyadıcısı və UB-B şüaların xroniki dozaları ayrı-ayrılıqda isə, əksinə, onlarda karotinoidlərin biosintezini artırır. Müəyyən edilmişdir ki, stressorların ayrı-ayrılıqda təsiri hüceyrədaxili katalaza aktivliyini artırır, stressorların birlikdə təsiri isə *Dunaliella* hüceyrələrinin katalaza aktivliyini aşağı salır. Norflürazon LPO prosesini pozur, metilen göy boyadıcısı ayrılıqda və stressorların birgə təsiri isə hüceyrələrdə lipidlərin peroksidləşməsi prosesinin yüksəlməsinə gətirib çıxarır.

***Açar sözlər**: yaşıl mikroyosun, biomәhsuldarlıq, norflürazon, metilen göy boyadıcısı, UB-B şüalanma, karotinoid, katalaza, lipidlərin peroksidləşməsi*

Adaptive Response Of *Dunaliella* Cells Against Stressors Of Various Nature

Alizadeh G.I., Zeynalova N.M., Aliev I.I., Magerramova Kh.Kh.

Baku State University

Bioproductivity, biosynthesis of carotenoides, catalase activity and lipid peroxidation (LPO) of control cells as well as cells exposed to chronic UV-B radiation have been studied in the presence of the generators of active oxygen forms – methylene blue and herbicide norflurazon. Bioproductivity of the cells decreased when treated with norflurazon (NF) and methylene blue under intensive cultivation of the algae at chronic UV-B radiation ($4.5 *10^3$ ergs/mm^2 per an hour). NF was found to suppress, while methylene blue and chronic UV-B radiation stimulate biosynthesis of carotenoids. Acting individually these stressors increased intracellular catalase activity, whereas joint action of the stressors caused synergetic suppression of catalase activity in Dunaliella cells. NF suppressed, but methylene blue and joint action of suppressors stimulated the process of LPO.

***Keywords**: green microalgae, bioproductivity, norflurazon, methylene blue, UV-B radiation, carotenoid, catalase, lipid peroxidation*